

УДК 541.8

ВЯЗКОСТЬ И ТЕРМОДИНАМИКА ВЯЗКОГО ТЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ВОДА — N-МЕТИЛПИРРОЛИДОН© 2009 Е. П. Безуглая¹, Н. А. Ляпунов¹, А. П. Красноперова², Г. Д. Южно², А. В. Черный²

Исследована вязкость двойной системы вода — N-метилпирролидон (NMP) по всему составу смешанного растворителя в интервале температур 298,15 К — 343,15 К. Обсуждается влияние температуры и состава растворителя на избыточные вязкости и квазитермодинамические характеристики вязкого течения.

Ключевые слова: вязкость, двойная система вода- N-метилпирролидон(NMP), термодинамика вязкого течения

В современной фармации в качестве носителей лекарственных средств широко применяются смешанные растворители, в том числе на основе N-метилпирролидона (NMP).

NMP – простейший циклический амид, который, благодаря исключительно высокой термической и химической стабильности, широко используется как селективный растворитель органических и неорганических веществ [1-4]. Во многом этим объясняется значительное число публикаций, посвященных исследованию растворов на его основе.

Несмотря на интенсивное изучение растворов NMP, физико-химические свойства водных смесей на его основе исследованы недостаточно [1-3, 5-7].

В то же время при создании лекарственных препаратов на основе NMP принципиально важен научно обоснованный выбор состава растворителя, который должен базироваться на результатах физико-химического анализа.

Одним из самых характерных свойств жидкого состояния является вязкость. Коэффициенты вязкости и их температурные производные весьма чувствительны к ассоциативному состоянию вещества и межмолекулярным взаимодействиям в растворах. Все это позволяет рассматривать исследование вязкости как один из наиболее информативных методов физико-химического анализа жидких многокомпонентных систем и как чувствительное средство контроля качества жидкофазных материалов.

Данная работа посвящена исследованию вязкости растворов вода — NMP в широком интервале составов в диапазоне температур 298,15 – 343,15 К.

Вода имеет наиболее совершенную сетку водородных связей среди растворителей с сеточной структурой [8].

N-метилпирролидон является типичным апротонным полифункциональным неэлектролитом, который способен к образованию прочных водородных связей с водой за счет карбонильного атома кислорода группы $C=O \cdots H-O$ [3].

Одной из основных задач исследования являлось выяснить, какое влияние оказывает NMP на сетку H-связей воды, используя данные вискозиметрии и квазитермодинамические характеристики вязкого течения.

Экспериментальная часть

Смешанные растворители вода — NMP готовили гравиметрическим методом. Для этого использовали дважды перегнанную воду. N-метилпирролидон предварительно очищали двукратной перегонкой под вакуумом по методике, описанной в [7]. Чистоту NMP контролировали по плотности ($\rho_{20}^{\circ}C = 1032.6 \text{ кг/м}^3$) и диэлектрической проницаемости ($\epsilon_{25}^{\circ}C = 32.7$).

Вязкость измеряли с помощью капиллярного вискозиметра Оствальда. Объем измерительного резервуара — 15-20 см³. Радиус и длину капилляра выбирали так, чтобы время истечения

¹ ГП «Государственный научный центр лекарственных средств», ул.Астрономическая, 33, г.Харьков

² Харьковский национальный университет имени В.Н.Каразина, отдел радиохимии и радиоэкологии НИИ химии при ХНУ п.л. Свободы 4, г. Харьков e-mail: alla.p.krasnopyorova@univer.kharkov.ua

жидкости через капилляр составляло 200-700 с. В качестве калибровочных растворов использованы жидкости, величина вязкости которых соизмерима с вязкостью исследуемых растворов: вода, этиленгликоль. Вязкости калибровочных жидкостей взяты из [9]. Заданную температуру поддерживали с помощью специально сконструированного термостата, позволяющего легко фиксировать время истечения жидкости. Термостатирование проводилось в течение 30 мин. Погрешность в определении вязкости составляла 1-4%.

Результаты и их обсуждение

Полученные данные приведены в таблице и графически представлены на рис.1.

Как видно из таблицы и рисунка 1, вязкость исследуемой системы меняется в широких пределах, как с изменением состава, так и температуры.

Таблица. Вязкость системы вода— NMP (мПа·с)

Мол. доля NMP	Температура, К									
	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15	328.15	333.15	338.15	343.15
0.00	0.90	0.82	0.75	0.69	0.63	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46
0.01	1.04	0.93	0.85	0.78	0.72	0.66	0.61	0.57	0.53	0.50
0.02	1.21	1.07	0.98	0.88	0.81	0.74	0.69	0.63	0.59	0.55
0.03	1.37	1.20	1.10	0.97	0.89	0.81	0.74	0.69	0.64	0.59
0.05	1.72	1.51	1.34	1.19	1.06	0.96	0.87	0.80	0.74	0.67
0.07	2.16	1.95	1.72	1.42	1.27	1.13	1.01	0.93	0.85	0.77
0.10	2.81	2.43	2.12	1.86	1.67	1.52	1.38	1.29	1.15	1.03
0.15	3.59	3.15	2.75	2.40	2.10	1.85	1.67	1.53	1.38	1.25
0.20	4.25	3.76	3.28	2.80	2.41	2.08	1.86	1.72	1.54	1.40
0.25	4.94	4.16	3.57	3.01	2.60	2.29	2.04	1.80	1.65	1.50
0.30	5.20	4.22	3.65	3.04	2.65	2.32	2.09	1.87	1.67	1.55
0.40	4.64	3.93	3.39	2.94	2.58	2.28	2.04	1.85	1.70	1.55
0.50	3.81	3.33	2.88	2.56	2.29	2.07	1.89	1.73	1.59	1.47
0.60	3.16	2.76	2.49	2.24	2.03	1.84	1.70	1.59	1.47	1.36
0.80	2.31	2.10	1.93	1.80	1.65	1.55	1.46	1.38	1.29	1.24
1.00	1.69	1.56	1.46	1.35	1.28	1.19	1.12	1.06	1.01	0.95

Изотермы вязкости изученной системы характеризуются наличием максимума, (рис.1) в области составов ~ 0,3 м. д. NMP. С ростом температуры максимум на изотермах вязкости исследуемой системы сглаживается, что характерно для высоко ассоциированных жидкостей [10]. Если считать, что величина максимума на изотермах вязкости может быть соотнесена с энергией межмолекулярного взаимодействия, то следует, что в системе вода — NMP с ростом температуры взаимодействие между молекулами компонентов ослабевает, вследствие чего прочность образующихся продуктов взаимодействия уменьшается.

При изучении фазовой диаграммы системы вода – NMP [5] и рентгенографическом исследовании твердых фаз этой системы [6] был установлен факт кристаллизации из раствора химического соединения состава $C_5H_9NO \cdot 2H_2O$. Есть основания предполагать, что химическое соединение того же состава образуется и в жидкой фазе. Это согласуется с диэлькометрическими, рефрактометрическими и спектрофотометрическими исследованиями системы вода – NMP [7].

Для интерпретации данных физико- химического анализа жидких систем большое значение имеют функции свойств, которые в отсутствие взаимодействия между компонентами линейно зависят от состава системы (аддитивной функции). Отклонения экспериментальных величин вязкости изученной системы от аддитивных значений, рассчитаны по уравнению 1 [10]:

$$\eta^E = \eta_{\text{экс.}} - \sum \eta_i, X_i \quad (1)$$

где η^E — отклонение вязкости от аддитивных величин, X_i — вязкость и мольная доля i -го компонента.

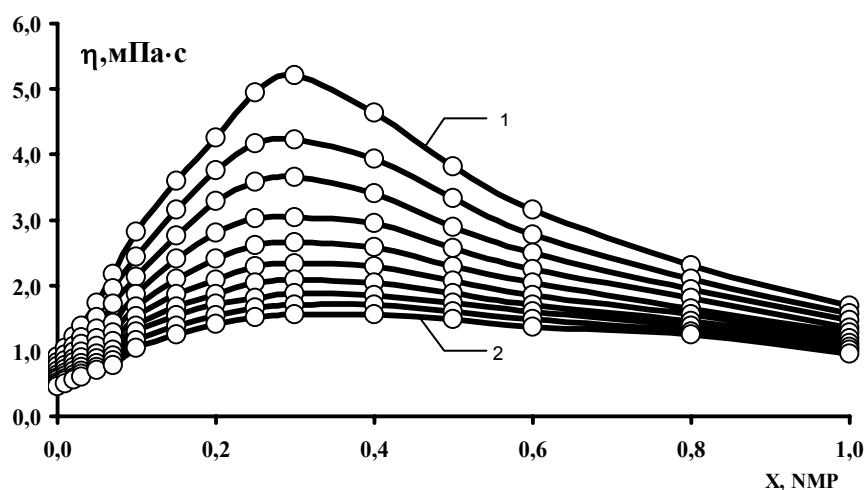


Рис. 1. Зависимость вязкости растворов вода- NMP от мольной доли неводного растворителя: 1 – 298,15 К; 2 – 343,15 К

Величины отклонений η^E положительны, а изотермы отклонений проходят через максимум в области составов $\sim 0,3$ м. д. NMP (рис.2). Хотя η_M^E и нельзя рассматривать как меру взаимодействия между молекулами компонентов, можно сказать, что чем больше абсолютное значение η_M^E , тем взаимодействие сильнее.

При исследовании температурных коэффициентов внутреннего давления системы вода – NMP и их отклонений от аддитивности на концентрационных зависимостях этих величин при $X \sim 0,3$ м.д. NMP наблюдаются экстремумы [3]. Появление экстремумов авторы также объясняют образованием максимального количества комплексов $C_5H_9NO \cdot 2H_2O$ и изменением характера ассоциации в водных растворах N- метилпирролидона с уменьшением концентрации воды.

Существование ассоциатов такого состава в растворах подтверждается в большинстве работ, в которых изучались физико-химические свойства этой системы [5, 7,11], а также исследованиями, проведенными методами компьютерного моделирования [12] и спектроскопии [13].

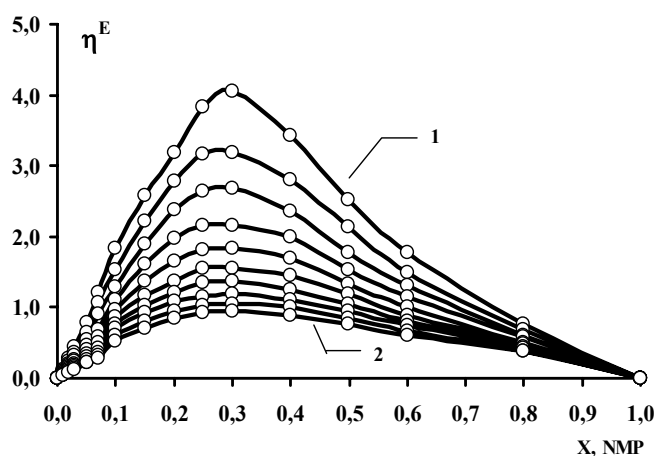


Рис. 2. Зависимость избыточных вязкостей η^E от состава смешанного растворителя вода -N-метилпирролидон: 1 – 298,15 К, 2 – 343,15 К

Льдоподобная модель строения жидкой воды предполагает наличие достаточно больших пустот в ее структуре [7]. Сведения о структуре и межмолекулярных взаимодействиях в N-метилпирролидоне, имеющиеся в литературе, довольно ограничены [3,12-14].

Известно, что в NMP отсутствуют водородные связи, однако могут существовать сильные диполь-дипольные взаимодействия [3, 9]. Эти взаимодействия в рамках модели [15,16] при 298,15 К по абсолютной величине составляют ~ 5 кДж/моль, или 10% от общего межмолекулярного взаимодействия в этом амиде, и ослабляются при повышении температуры.

Можно предположить, что при малых добавках к воде NMP наблюдается гидрофобное взаимодействие между молекулами амида и воды из-за наличия алкильных групп в его молекуле. С ростом концентрации амида в смеси происходит последовательное разрушение сетки Н-связей воды, которое окончательно происходит при $X \sim 0,3$ м. д.[12]. При этом, образующая гетерокомпонентная водородная связь $C=O \cdots H-O$ между молекулами воды и NMP значительно прочнее Н- связей вода - вода.

Политермические исследования вязкости смешанных растворов вода – NMP позволили считать квазитермодинамические характеристики активации вязкого течения ($\Delta F_{\eta}^{\ddagger}$: $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$ (свободная энергия Гиббса); $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ (энтальпия) и $\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$ (энтропия), которые несут значительную информацию о межмолекулярном взаимодействии в смешанном растворителе.

Согласно теории Эйринга [17], одним из элементарных актов процесса вязкого течения ассоциированных жидкостей является перемещение отдельных молекул, а для образования активированного комплекса необходим разрыв некоторого числа водородных связей. Для осуществления этого процесса необходима определенная свободная энергия активации вязкого течения ($\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$).

Вязкость связана со свободной энергией активации вязкого течения соотношением Эйринга [17]:

$$\eta = \frac{h \cdot N}{V_M} \cdot \exp \left[\frac{\Delta G_{\eta}^{\ddagger}}{RT} \right] \quad (2)$$

где η — вязкость (мПа·с); h — постоянная Планка (Дж·с); N — число Авогадро (моль⁻¹); V_M — молярный объем (см³/моль); R — универсальная газовая постоянная (Дж/моль·К); T — температура (К).

Используя уравнение (2) были рассчитаны свободные энергии Гиббса активации вязкого течения $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$.

Величины $\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$ найдены дифференцированием свободной энергии активации вязкого течения по температуре, а энтальпии активации $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ — исходя из общего термодинамического соотношения:

$$\Delta G_{\eta}^{\ddagger} = \Delta H_{\eta}^{\ddagger} - T \Delta S_{\eta}^{\ddagger} \quad (3)$$

Свободные энергии Гиббса активации вязкого течения $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$ положительны по всему составу смешанного растворителя и значительно меньше зависят от состава системы, чем их энтальпийные и энтропийные составляющие (рис.3). Как следует из рис. 3, основной вклад в свободную энергию Гиббса вносит энтальпийный фактор, роль энтропии вязкого течения в системе вода – NMP относительно невелика.

Полная энергия активации вязкого течения представляет собой сумму энергий, необходимых для образования вакансий в жидкости (незанятого равновесного положения) и переход молекулы жидкости в эту вакансию[18]. При этом свободная энергия Гиббса процесса активации вязкого течения связана с тепловым эффектом испарения $\Delta H_{исп}$. (так как оба эти процесса сопровождаются образованием вакансий в жидкости) приближенным соотношением [18]:

$$\Delta G_{\eta}^{\ddagger} = \frac{\Delta H_{исп}}{2,45} \quad (5),$$

где 2,45 — постоянная величина.

Так как значения $\Delta H_{исп}$ N-метилпирролидона (49,8 кДж/моль) [19] выше, чем $\Delta H_{исп}$ воды (40,68 кДж/моль) [19], то следует ожидать, что и $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$ N-метилпирролидона будет выше, чем $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$ воды. На кривой зависимости $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$ от состава растворителя (рис. 3) можно выделить две области: область роста значений $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$ и область, где эти величины от состава практически не зависят.

Рост значений $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$ при переходе от воды к смешанному растворителю можно объяснить увеличением энергии необходимой на образование вакансий в жидкости как из-за разницы в размерах молекул воды и молекул N-метилпирролидона, так и из-за уменьшения “ажурности” структуры смешанного растворителя. Область, где $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$ мало зависят от состава системы, вероятно, связана с тем, что высокие значения энтальпии активации вязкого течения частично компенсируются высокими значениями энтропии активации.

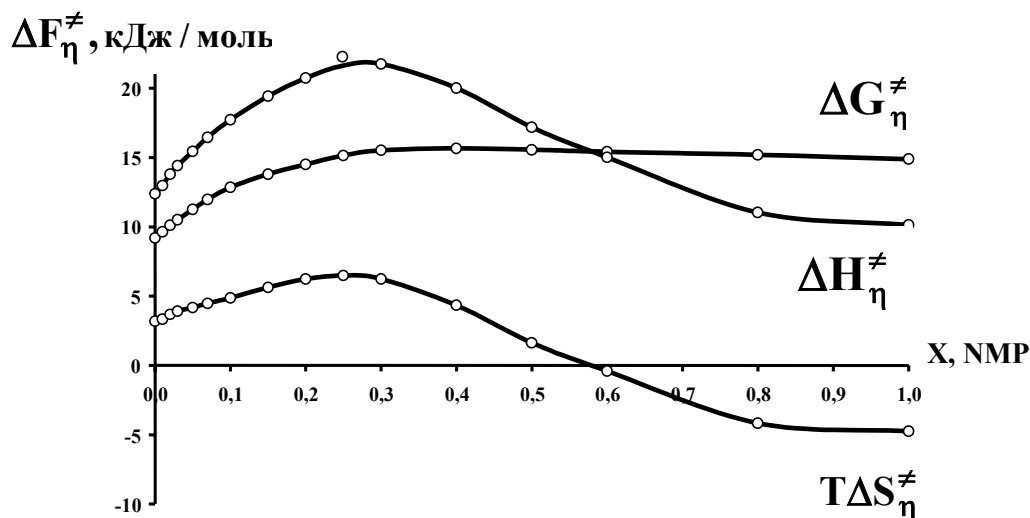


Рис. 3. Зависимость квазитермодинамических характеристик активации вязкого течения $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$, $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$, $T \Delta S_{\eta}^{\ddagger}$ ($\Delta F_{\eta}^{\ddagger}$, кДж/моль) от состава растворителя при 298,15 К

Значения $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ положительны по всему составу смешанного растворителя (рис. 3). При этом на зависимости $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ от состава наблюдается экстремум в области ~0,3 м.д. N- метилпирролидона. Дальнейшее увеличение содержания NMP вплоть до 0,8 м.д. приводит к снижению энтальпии активации вязкого течения. Это свидетельствует об уменьшении энергетических затрат на создание и перемещение активированного комплекса. Следует отметить, что, начиная с 0,8 м.д. N- метилпирролидона $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ практически не меняется.

Рост значений $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ при переходе от воды к неводному растворителю (до 0,3 м.д. NMP), вероятно, вызван увеличением $\Delta H_{исп}$ смеси и, следовательно, увеличением энергии, необходи-

мой на образование вакансий в жидкости. Кроме того, довольно большие величины $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ могут быть обусловлены тем, что для ассоциированных жидкостей не только процесс образования вакансий, но и процесс перехода молекул в вакансии требуют значительных энергий активаций. Действительно, за исключением чистого NMP и его смесей с водой, содержащих более 0.8 м.д. NMP, $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ NMP ниже, чем $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ воды.

Значения $\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$ в воде выше, чем в N-метилпирролидоне, что можно связать с более высокой упорядоченностью структуры воды по сравнению со структурой N-метилпирролидона. Зависимость $\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$ от состава системы также как и зависимость энтальпии активации вязкого течения носит экстремальный характер.

В соответствии с подходом [21, 22] в системе вода — N-метилпирролидон можно выделить три концентрационные области, которые находят отражение на зависимостях квазитермодинамических характеристик вязкого течения исследуемой системы. В области составов $0 < X < 0.4$ происходит изменение пространственной сетки водородных связей воды с последующим ее разрушением и образование ассоциатов вода - NMP переменного состава. Наблюдаемые экстремумы на зависимостях $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}(X)$ и $T \Delta S_{\eta}^{\ddagger}(X)$, при содержании NMP ~ 0.3 м. обусловлены образованием максимального количества гетероассоциатов $C_5H_9NO \cdot 2H_2O$. В области составов $0.4 < X < 0.8$ вода преимущественно диспергирована на отдельные мономерные молекулы и входит в состав гетероассоциатов состава $2C_5H_9NO \cdot H_2O$ и $C_5H_9NO \cdot H_2O$.

В третьей концентрационной области $0.8 < X < 1$ $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ и $\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$ практически остаются постоянными. Это дает основание предположить, что состояние амида в этой области составов сходно с его состоянием в чистом N-метилпирролидоне.

Авторами работы [23] отмечено, что наиболее сильные структурные изменения водных растворов неэлектролитов происходят внутри области изгиба концентрационной зависимости температурного коэффициента внутреннего давления, причем состав, отвечающий концу изгиба, соответствует наиболее устойчивому ассоциату вода-неэлектролит.

Исходя из того, что полная энергия межмолекулярных взаимодействий в растворе представляет сумму неспецифических и специфических вкладов, авторы [15] используя данные по внутреннему давлению и, принимая внутреннее давление за меру неспецифических взаимодействий, сделали попытку оценить их вклад в общее межмолекулярное взаимодействие в исследуемой системе. На основании анализа полученных данных авторы делают вывод, что при повышении мольной доли амида до 0.35 специфическая составляющая уменьшается за счет интенсивного разрушения структуры воды добавками амида.

Согласно [24], квазитермодинамические функции активации вязкого течения $\Delta F_{\eta}^{\ddagger}$ являются мольно-аддитивными величинами. Это позволило рассчитать отклонения $\Delta F_{\eta}^{\ddagger E}$ от аддитивных величин для изученной системы (рис. 4).

Отклонения $\Delta F_{\eta}^{\ddagger E}$ положительны и характеризуются наличием экстремумов в области 0,3 м. д. N-метилпирролидона, что еще раз подтверждает сделанные выводы о наличии в изученной системе сильного межчастичного взаимодействия, максимум которого соответствует области составов $\sim 0,3$ м. д. NMP.

Исходя из того, что зависимость $\lg \eta$ — $1/T$ для изученной системы носит линейный характер по уравнению Аррениуса [25] рассчитаны средние энергии активации вязкого течения E_A^{η} , а по уравнению Панченкова [26] оценены величины средних энергий взаимодействия (E_{Π}) в ассоциатах, образованных однородными и разнородными молекулами в системах вода — N-метилпирролидон.

На изотермах E_{Π} и E_A^{η} — состав наблюдаются экстремумы, положения которых соответствуют наибольшей упорядоченности активированного состояния. Хотя это довольно грубые оценки действительной энергии межчастичного взаимодействия, все же можно сделать вывод,

что смешанные ассоциаты вода - NMP более энергетически выгодны, чем ассоциаты вода - вода и амид - амид.

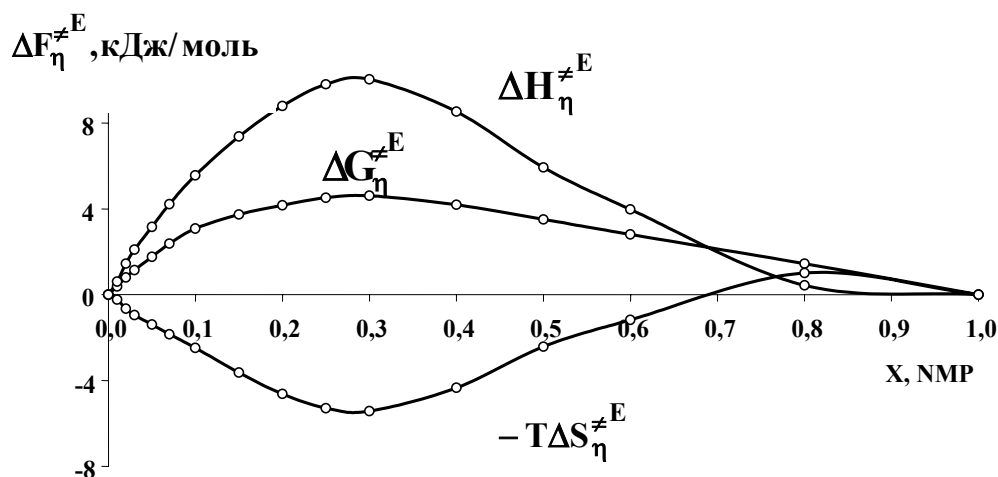


Рис. 4. Зависимость избыточных термодинамических функций ΔF_{η}^{E} (кДж/моль) активации вязкого течения от состава растворителя при 298,15 К: X- мольная доля NMP

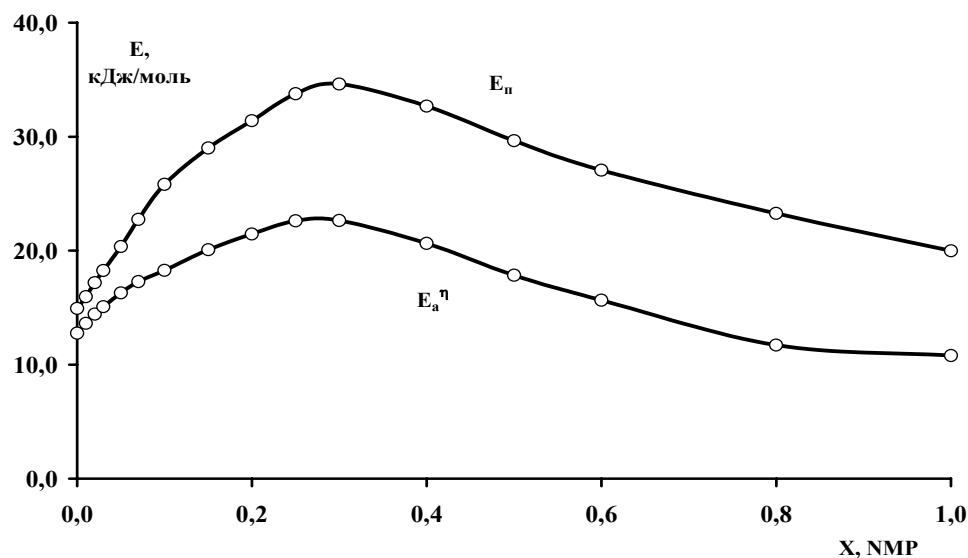


Рис. 5. Зависимость энергии активации вязкого течения по Арениусу (E_A^{η}) и энергии связи по Панченкову (E_{η}), кДж/моль от состава растворителя при 298,15 К: X- мольная доля N-метилпирролидона

Таким образом, анализ полученных данных о вязкости и квазитермодинамических характеристиках активации вязкого течения и их зависимостей от состава растворителя, позволяет сделать вывод, что в исследуемой системе имеются три концентрационные области составов с доминирующей структурной организацией.

Литература

1. Hradetzky G., Hammerl I., Kisan W., Wener K., Bittrich H.J. Data of Selective Solvents. – Berlin: DVD. – 1989. – 360 p.
2. Михайлов Г. М., Лебедева М. Ф., Пинаев Г. П., Юдинцева Н. М., Блинова М. И., Парнин Е. Ф. Новые тканые матрицы на основе рассасывающегося природного поли-

- сахарида хитина для культивирования и трансплантации клеток кожи человека. //Клеточная трансплантология и тканевая инженерия. –2006. – №4 (6). –С. 56 – 61.
3. Зайчиков А. М. Термодинамические характеристики и межмолекулярные взаимодействия в водных растворах N-метилпирролидона. //Журн. общей химии. 2006. Т. 76. № 4. С. 660 – 667.
4. Belousov V. P., Panov M. Y. Thermodynamic Properties of Aqueous Solution of Organic Substances. Boca Raton; London; Tokyo: CRC, 1994. 368 p.
5. Афанасенко Л. Д., Ярым – Агаев Н. Л., Толмачева Г. Б. Фазовые равновесия жидкость-пар растворов диэтиленгликоль – N-метилпирролидон – вода.// Журнал прикл. химии. – 1980. –№7. –С. 1509–1513.
6. Афанасенко Л. Д., Ярым – Агаев Н. Л., Цыбульский Е. О. и др. Рентгенографическое исследование твердых фаз двухкомпонентной системы N-метилпирролидон– вода.// Изв вузов. Химия и хим. Технология. – 1984. –№27, вып.2. –С. 184-187.
7. Афанасенко Л. Д., Ярым – Агаев Н. Л., Билобров В. М. Диэлькометрическое, рефрактометрическое и спектрофотометрическое исследование системы N-метилпирролидон-вода. // Укр. хим. журн. –1987. –Т.53. –№ 2. –С. 153-157.
8. Родникова М. Н. Особенности растворителей с пространственной сеткой Н - вязей. // Журн. физ. химии. – 1993. –Т.67, №2 –С.275-280.
9. Краткий справочник физико-химических величин, под ред. Равделя А. А., Л., «Химия», 1983, 170 с.
10. Фиалков Ю. Я. Двойные жидкие системы. К.Техника. 1969, 220с
11. Черный А. В., Александров В. В., Вайль Е. И., Петренко Г. Л. Вискозиметрическое изучение системы вода – N-метилпирролидон– ε- капролактам. // Вестн. Харьк. ун-та. – 1984–№220. – С.8 -13.
12. Carver T. J., Drev M.G.B., Rodger P. M.// Pys. Chem. Chem. Phys. – 1999. –V.1. –№ 15. – P.1807-1812.
13. Афанасенко Л. Д., Ярым – Агаев Н. Л., Билобров В. М.Спектроскопическое исследование межмолекулярного взаимодействия в системе Nметилпирролидон-вода. // Укр. хим. журн. –1987. –Т.53. –№ 2. –С. 153-157.
14. Eastland G. W., Rao D.N. R., Symons M.C.R.// J. Chem. Soc., Faraday Trans.1. –1986. — Vol. 82. –N 10. –P.2833-2839.
15. Зайчиков А. М., Крестьянинов М. А.Термодинамические параметры межмолекулярного взаимодействия в сильно ассоциированных растворах и их смесях с диметилформамидом. // Журн. общей химии. 2004. Т. 74. № 11. С. 1789 –1995.
16. Бушуев Ю. Г. Зайчиков А. М. Структурные свойства жидкого формамида.// Изв. АН. Сер. хим. –1998. –Т. 47. –№10. –С. 191-1917.
17. Глестон С., Лейдер К., Эйринг Г. Теория абсолютных скоростей реакций. –М: Ин. лит. –1948, 584с.
18. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М. Наука. 1972. 720с.
19. Рябин В. А., Остроумов М. А., Скит Т. Ф. Термодинамические свойства веществ. Справочник. Л.: Химия, 1977, с. 450.
20. Zaichikov A. M., Bushuev Y. G., Krestov G. A. Thermochemical Study of Ethylene Glycol Mixtures with N, N-Disubstituted Amides of Carboxylic Acids.//J. Therm. Anal.–1995. –Vol. 45. –N 4. –P.687-693
21. Koga Y.Toward Understanding the Hofmeister Series.1. Effects of sodium Salts of Some Anions on the Molecular Organization of H₂O. // Netsu Sokutei. - 2003. Vol. 30. – N 2. – P. 54-61
22. Mancera R. L., Chalaris M., Refson M., Samios J.// Phys. Chem. Chem. Phys. –2004. – Vol. 6. –N1. P. 94-98.
23. Карцев В. Н., Родникова М. Н., Бартел Й., Штыков С. Н. Температурная зависимость внутреннего давления. // Журн. физич. химии. –2003. –Т. 77. –№6. – С.1016-1021.
24. Фіалков Ю.Я., Квітка О. О.Обґрунтування мольно-аддитивної функції в'язкості у подвійних рідких системах. //ДАН УРСР. – 1977,–Серія Б, –№ 10.–С.923-925.

25. Карапетьянц М. Х. Введение в теорию химических процессов. М.: Высшая школа, 1975, 113с.
26. Панченков Т. М. К вопросу о расчете абсолютных значений вязкости жидкостей. Ж. физ. химии, 1950, т. 29, № 11, С. 1390-1404.

Поступила в редакцию 25 июля 2009 г.

О. П. Безугла, М. О. Ляпунов, А. П. Красноперова, Г. Д. Юхно, А. В. Черный. В'язкість і термодинаміка в'язкої течії системи вода — N-метилпірролідон.

Досліджена в'язкість подвійної системи вода— N-метилпірролідон (NMP) по всьому составу змішаного розчинника в інтервалі температур 298.15 К — 343.15 К. Обсуждается вплив температури і состава розчинника на надмірні в'язкість і квазітермодинамічні характеристики в'язкої течії.

Ключові слова: в'язкість, подвійна система вода— N-метилпірролідон (NMP), термодинаміка в'язкої течії.

E. P. Bezuglaya, N. A. Lyapunov, A. P. Krasnopyorova, G. D. Yukhno, A. V. Cherny. Viscosity and the thermodynamics of the viscous flow of the system "Water - N- Methylpyrrolidone".

The viscosity of the binary system "water – N-methylpyrrolidone" (N[MR]) has been investigated over the entire composition of mixed solvent in the temperatures range 298.15 to 343.15 K. The effect of temperature and composition of solvent on the excess viscosities and the quasi-thermodynamic characteristics of viscous flow have been discussed.

The key words: viscosity, binary system, water, N-methylpyrrolidone, thermodynamics, viscous flow.

Kharkov University Bulletin. 2009. №870. Chemical Series. Issue 17(40).